

Utilização de sensores para a avaliação da Bradicinesia em Parkinsonianos**Use of sensors for the evaluation of Bradykinesia in Parkinsonians**

Recebimento dos originais: 20/02/2019

Aceitação para publicação: 27/03/2019

Emilio Werner

Graduando em Engenharia de Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Campus Araranguá.
Endereço: Rua Girassol, nº 245- Res. Alvorada– Bairro Jardim das Avenidas, Araranguá –
SC, Brasil. CEP:88.906-004
E-mail: werner.emilio@gmail.com

Marcelo Daniel Berejuck

Doutor em Engenharia de Automação e Sistemas
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina
Endereço: Rua Pedro João Pereira, nº 150 - Mato Alto – Araranguá – SC
CEP: 88.905-120
E-mail: berejuck@ieee.org

Poliana Penasso Bezerra

Doutora em Ciências (Neurologia) pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/
Universidade de São Paulo
Endereço: Av. Governador Jorge Lacerda, 3201 - Jardim das Avenidas, Araranguá- SC, Brasil
E-mail: poliana.bezerra@ufsc.br

RESUMO

Objetivo: Descrever a efetividade da utilização de uma ferramenta eletrônica baseado em sensores inerciais a qual tem como objetivo dar suporte na avaliação inicial da bradicinesia em pessoas com a doença de Parkinson. Método: Criação de um protótipo utilizando os sensores do tipo acelerômetro e giroscópio com uma placa de Arduino para uma avaliação da bradicinesia durante uma tarefa motora. Resultado: Observou-se que os sensores conseguem fazer uma captura precisa dos movimentos ao realizar uma atividade motora, os quais podem assim compor um sistema capaz de quantificar a bradicinesia. Conclusão: Verificou-se que o uso de sensores inerciais pode ser de grande utilidade na composição de dispositivos tecnológicos que auxiliam na avaliação inicial de bradicinesia em parkinsonianos.

Palavras chave: Bradicinesia; Sensores; Parkinson.

ABSTRACT

Objective: To describe the effectiveness of the use of an electronic tool using inertial sensors, which aims to support the initial evaluation of bradykinesia in people with Parkinson's disease. Method: Creation of a prototype using the accelerometer and gyroscope type sensors with an Arduino board for an evaluation of bradykinesia through a motor task. Result: It was observed that the sensors can accurately capture the movements when performing a motor

activity that could compose a system capable of quantifying bradykinesia. Conclusion: It was verified that the use of inertial sensors could be a great use in the composition of technological devices that aid in the initial evaluation of bradykinesia in parkinsonians.

Keywords: Bradykinesia; Sensors; Parkinson.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de sensores para diagnóstico e avaliação de determinadas doenças é atualmente uma área de grande crescimento e investimento, tanto pela credibilidade dos resultados obtidos, como pelo emprego simples e fácil.

Profissionais da área da saúde usualmente aplicam escalas padronizadas de avaliação para quantificar a condição clínica e funcional do paciente, assim como os sintomas motores e não motores da doença de Parkinson (DP), baseando a pontuação na observação qualitativa e/ou autopercepção do indivíduo [1].

Dentre os sintomas cardinais da DP, a bradicinesia é considerada a principal marca da doença e o sintoma mais incapacitante. Sua principal característica é a lentidão de movimentos, entretanto afeta também a iniciação de movimentos, amplitude e força muscular. A avaliação clínica da bradicinesia é realizada por meio de testes motores, nos quais são analisadas principalmente as alterações na velocidade e amplitude de movimentos. O instrumento clínico padrão ouro para a avaliação da bradicinesia é a subescala de bradicinesia, que faz parte da Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (UPDRS, do inglês *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*) [2].

No início da doença, as principais manifestações da bradicinesia envolvem dificuldades em falar, andar, sentar e levantar de cadeiras. Indivíduos podem deixar de balançar os braços durante a caminhada ou podem apresentar expressão facial limitada. Mais tarde, a bradicinesia afeta todos os movimentos e, na pior das hipóteses, pode resultar em uma completa incapacidade de se mover. O paciente pode também necessitar de intensa concentração para superar a inércia aparente dos membros, mesmo nas tarefas motoras mais simples. A iniciação do movimento é particularmente prejudicada tanto em movimentos não naturais quanto em movimentos novos, ou quando há a necessidade de combinar diversos movimentos simultaneamente [3].

É possível utilizar sensores como o acelerômetro e o giroscópio, uma vez que os mesmos retornam dados de medidas inerciais, para qualificar a bradicinesia em pessoas com DP ao realizar uma tarefa motora específica. De uma maneira simples, pode-se dizer que acelerômetros e giroscópios são dispositivos eletrônicos projetados para "capturar" o

movimento, e são amplamente utilizados em aparelhos como *smartphones* e *notebooks*. Atualmente por ser uma forma fácil de aquisição, muitas variantes para o uso na avaliação de doenças neurodegenerativas estão sendo desenvolvidas.

O artigo de A. Rabelo (2017) tem como objetivo a avaliação de parâmetros temporais e inerciais para a caracterização da bradicinesia parkinsoniana durante a extensão do punho [1]. Entretanto alguns fatores podem ser melhorados e/ou adaptados a outras formas de avaliação da bradicinesia. No trabalho de A. Rabelo (2017), a comunicação entre o microcontrolador e o computador é feito através de cabos, o que vem ser um problema de usabilidade e comodidade para a realização do movimento durante a coleta dos dados.

A principal motivação, bem como o objetivo da realização deste artigo, é descrever a efetividade da utilização de uma ferramenta eletrônica baseado em sensores inerciais a qual tem como objetivo dar suporte na avaliação inicial da bradicinesia em pessoas com a DP. A metodologia empregada baseia-se na análise dos dispositivos eletrônicos, bem como sua forma de funcionamento e seu local de atuação no corpo do paciente. Desta forma, é possível determinar uma melhor forma de avaliação da bradicinesia para uma tarefa a ser realizada, mostrando assim quais dados são importantes para o profissional da saúde, o qual irá proceder com o diagnóstico e/ou intervenção.

1.1 A BRADICINESIA EM PACIENTES COM DP

A bradicinesia se expressa como uma redução na velocidade e amplitude de execução do movimento voluntário. Para uma avaliação da bradicinesia, usa-se escalas de avaliações específicas utilizadas por profissionais observadores como por exemplo, a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (UPDRS, do inglês *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*) e a Escala de Classificação St. Hans para Efeitos Colaterais Extrapiramidais (SHRS) [4].

Toda via, como tais escalas são realizadas observando os movimentos dos pacientes, os resultados tornam-se subjetivos, resultando em uma confiabilidade moderada e pequena sensibilidade a formas sutis de distúrbios de movimento [4]. Para isso, uma alternativa que possa resolver tais problemas seria o uso de uma avaliação instrumental [2].

1.2 DOENÇA DE PARKINSON E BRADICINESIA

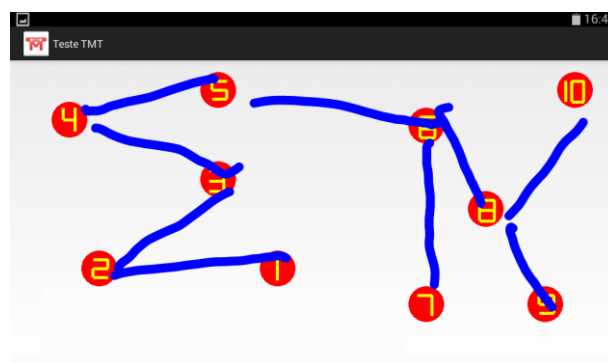
A DP é uma doença neurodegenerativa crônica, progressiva e incapacitante que afeta cerca de 1-2% da população com mais de 65 anos e 3-5% com mais de 85 anos. Embora a causa não

seja conhecida, considera-se atualmente que a DP seja resultado de múltiplos fatores, incluindo envelhecimento natural, suscetibilidade genética e exposição a fatores ambientais [3]

A DP é neuropatologicamente caracterizada por perda de neurônios dopaminérgicos nigroestriatais e formação de corpos de Lewy no citosol dos neurônios dopaminérgicos remanescentes. Originalmente entendida como uma desordem decorrente do déficit de dopamina, evidências sugerem que este processo degenerativo se estende para outras populações neuronais, envolvendo neurotransmissores não-dopaminérgicos, tornando-se mais proeminente durante o curso da doença [3]. Os sintomas associados são principalmente motores, particularmente bradicinesia e acinesia (lentidão e pobreza do movimento), rigidez muscular, tremor de repouso e problemas de postura e marcha, em conjunto com uma série de sintomas não-motores, que incluem o comprometimento da cognição [5]. Atualmente, a avaliação dos sinais e sintomas motores na DP ocorre de forma qualitativa por meio de escalas clínicas [4,6]. Entretanto, a utilização destas escalas depende da percepção e avaliação de cada examinador, fazendo com que possa ocorrer diferentes resultados para um mesmo paciente.

A figura 1 mostra um teste bastante utilizado em pacientes com problemas neurodegenerativos, chamado de *Trail Making Test* (TMT). Neste teste o paciente liga os pontos em sequência pelo menor caminho e o período de tempo gasto é cronometrado. Como pode-se notar, pacientes com DP possuem deficiência na atividade de dupla tarefa cognitivo-motora, resultado dos sintomas cognitivos e motores da doença. O teste foi realizado utilizando um dispositivo móvel com uma aplicação de testes para parkinsonianos com o objetivo de quantificar a forma de atividade de dupla tarefa.

Figura 1: Trail Making Test utilizado em um dispositivo móvel para a quantificação da dupla tarefa cognitivo motora em parkinsonianos.



A aplicação utilizada para o teste do TMT foi desenvolvida durante um projeto de pesquisa e extensão na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no ano de 2015. O propósito do projeto foi a utilização de dispositivos móveis como uma melhor forma de avaliação de atividades de dupla tarefa do tipo cognitivo-motora por meio do teste TMT em pacientes com DP no município Araranguá/SC. Tal projeto faz parte de uma proposta intitulada: Controle Postural e Ativação Muscular Durante Atividades Funcionais em Indivíduos com Doença de Parkinson e Efetividade de Intervenções Fisioterapêuticas, realizado pela UFSC.

A bradicinesia é um termo associado à lentidão dos movimentos e perda dos movimentos automáticos. Nas extremidades, isto resulta em redução na amplitude e na velocidade do movimento. Com incidência de 100 por cento, a bradicinesia é considerada um dos sintomas mais importantes na DP [7].

Em estágio inicial da doença a bradicinesia pode ser sutil, mas pode ser observada na redução da oscilação dos braços durante a marcha e durante hesitação para iniciar o movimento. Pode ser melhor identificada através da avaliação física, solicitando ao paciente para bater o dedo indicador contra o polegar, fechar e abrir os punhos ou bater o calcanhar. Quando mais severa, mais difícil para o paciente iniciar e manter um determinado movimento, produzindo fraqueza funcional e dor muscular. No entanto, em testes diretos de motricidade e com incentivo, a fraqueza pode ser abolida. A bradicinesia pode ser confundida em alguns casos com a depressão.

Na Figura 2, pode-se notar um paciente que possui DP realizando um teste motor de marcha. Em testes desse tipo, a bradicinesia pode ser observada, entretanto, não existe equipamento que faça a coleta dos dados com o intuito de quantificá-la.

Figura 2: Paciente com a Doença de Parkinson realizando um simples teste de marcha.



1.3 A TECNOLOGIA RELACIONADA A SAÚDE

Com o avanço contínuo da tecnologia, várias pesquisas com métodos instrumentais para a avaliação foram e estão sendo desenvolvidas. Entretanto, na grande parte dos casos, segundo Mentzel (2016), não são aplicados na pesquisa e na prática clínica, muitas vezes devido ao seu custo e facilidade de uso em comparação com as escalas de avaliação [2].

Muitas formas de avaliações utilizam tecnologias na captura de um movimento de uma determinada tarefa motora específica, como o movimento do punho, braço, cabeça ou outro membro bem como a caligrafia ou alguns desenhos. Ainda tendo como referência Mentzel (2016), sua pesquisa mostrou que as tarefas consideradas mais viáveis para a avaliação instrumental de bradicinesia foram a flexão, extensão das tarefas de cotovelo e marcha [2]. Um exemplo é a utilização de dispositivos móveis tais como *tablets* com a finalidade de realizar testes cognitivo-motores em pacientes com doenças neurodegenerativas como mostrado na Figura 3, onde um paciente realiza o teste TMT.

Figura 3: Paciente com a Doença de Parkinson realizando o teste Trail Making Test em um dispositivo móvel.



Segundo o trabalho de Damasceno (2015) sobre o uso de sensores de movimento para a recomendação de exercícios cinesioterapêuticos, um sistema de sensores pode ser capaz de auxiliar os fisioterapeutas no diagnóstico de posturas, bem como acompanhar o tratamento por meio de dados coletados, tendo assim uma ferramenta adicional para mensurar a flexibilidade e/ou acompanhar a melhora de um paciente [8].

Neste sentido, a utilização de tecnologias computacionais interativas pode auxiliar em uma forma de avaliação mais precisa e não dependendo apenas da percepção de um único avaliador. Além disso, parâmetros que objetivam prover mais subsídios para tratamentos específicos e possíveis intervenções, tais como, o tempo de início e término do teste, a forma

da tarefa a ser realizada e oscilações do braço devido ao tremor, podem ser capturados de maneira mais precisa.

1.4 UTILIZAÇÃO DE SENSORES

A utilização de sensores inerciais para a captura de movimentos tem a cada dia sido mais difundido, tanto por sua praticidade, simplicidade de implementação e facilidade de acesso. Sensores como o acelerômetro e giroscópio podem ser aplicados em diversas ocasiões a fim de obter dados mais precisos referentes ao movimento de uma pessoa. Vários trabalhos têm aliado tais recursos à necessidade de instrumentação na área da saúde, como nos trabalhos de Rabelo (2017), Damasceno (2015) e Caldas (2014) [1] [8] [9]. Um exemplo pode-se ver no trabalho de Dudak(2016) onde o autor utiliza de tais sensores para a criação de um dispositivo vestível para a captura de gestos feitos com a mão, abrindo assim grandes possibilidades para o uso de sensores para o controle outros dispositivos através de certos movimentos sem a necessidade de algum *hardware* adicional [10].

Este cenário cria oportunidades, mas, por outro lado, gera desafios em como criar dispositivos que possuam uma alta confiabilidade e credibilidade dos dados gerados voltados à avaliação clínica de pacientes que possuem DP. Além de que sua coleta seja de forma simples e eficaz não submetendo ao paciente situações de estresse o que pode resultar em variações nos resultados a serem obtidos.

1.5 SENSORES INERCIAIS ACELERÔMETRO E GIROSCÓPIO

Os acelerômetros nada mais são do que transdutores que convertem uma aceleração aplicada sobre ele em uma grandeza elétrica. Medem a aceleração linear com relação a um referencial, geralmente são usados em sistemas de posicionamento e inclinação, a unidade escolhida para sua representação é o [g], que é a gravidade da Terra (aproximadamente 9,8 m/s²), uma vez que essa unidade fornece uma noção mais intuitiva da grandeza das acelerações. Na maior parte dos casos, acelerômetros são usados em dispositivos móveis, como o uso para o sensoriamento de telas e jogos [10]. Em outras palavras, acelerômetro é um instrumento capaz de medir a aceleração sobre objetos.

Giroscópio é um sensor capaz de medir a velocidade angular, sua unidade de medida utilizada é o grau por segundo [°/s] [11]. Assim como o acelerômetro, o princípio de funcionamento do giroscópio depende do tipo de sensor utilizado. Existem aqueles que utilizam o método eletromecânico massa/mola, estes funcionam com base no princípio de

detecção da aceleração de Coriolis no qual age sobre uma determinada massa de prova de vibração proporcional a taxa de rotação ao longo de um eixo ortogonal ao eixo vibratório [1]. Ou seja, um giroscópio é um sensor que utiliza da força da gravidade para resultar na posição do objeto no espaço. Muito utilizado em *softwares* e *games* de realidade aumentada, para seu funcionamento, o dispositivo usa a força da gravidade para dizer ao *software* qual é a posição e direcionamento do aparelho no espaço.

2 METODOLOGIA

Atualmente, a avaliação dos sintomas da DP é realizada de maneira qualitativa, analisada por meio de escalas clínicas que necessitam da observação e julgamento do avaliador. O objetivo em questão é analisar os sensores inerciais, entre eles o acelerômetro e o giroscópio, por meio do desenvolvimento de um sistema embarcado o qual possibilite a realização de testes motores em parkinsonianos, quantificando assim os dados e permitindo o auxílio na parte do diagnóstico e das análises clínicas realizada por especialistas. Para isso, o uso de sensores inerciais e uma placa de Arduino como forma de iniciar um protótipo do sistema embarcado é válido, primeiramente por sua disponibilidade bem como por ser de fácil manuseio, o que possibilita assim uma abordagem inicial do sistema em questão validando alguns testes e comprovando a eficiência da proposta do trabalho.

3 DESCRIÇÃO DA TAREFA MOTORA

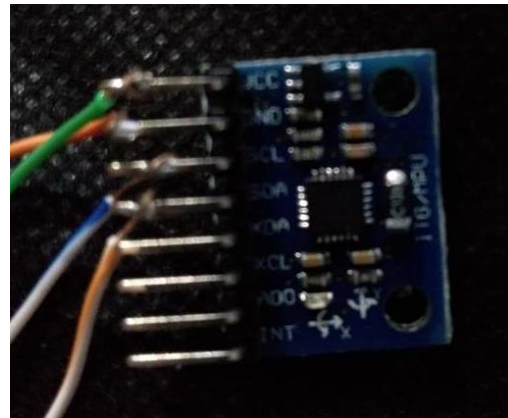
Antes do início da criação de um protótipo e antes mesmo do início das medições nos pacientes hígidos e com DP deve-se elaborar uma tarefa motora específica. Normalmente para tais tarefas de monitoramento, movimentos como a marcha e os movimentos dos braços são os mais utilizados. A explicação deve-se ao fato da bradicinesia ser a lentidão dos movimentos e perda dos movimentos automáticos, como citado por Moreira (2007) [7], com isso os movimentos de início de marcha e movimentos do braço são os mais indicados.

Um exemplo simples de tarefa que pode ser desenvolvida utilizando os braços é deixar o paciente sentado em frente a uma mesa com um objeto colocado a uma distância padronizada. A partir de um sinal sonoro de execução o paciente deve pegar o objeto sobre a mesa e trazer para si. Com isso pode-se obter o cálculo da bradicinesia utilizando os dados dos sensores inerciais e o tempo que levou até eles serem executados. Esta tarefa foi utilizada no presente estudo.

4 CRIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO INICIAL

Para a criação de um protótipo simples para testes pode-se utilizar uma placa de Arduino UNO, o qual é composta por um microcontrolador ATmega328, como mostrado na Figura 4-a, fios e um módulo de sensores inerciais MPU-6050, representado na Figura 4-b, onde temos um acelerômetro e um giroscópio em um mesmo módulo.

Figura 4-a: Dispositivo Arduino UNO utilizado para a implementação do protótipo inicial. Figura 4-b: Módulo MPU-6050 com acelerômetro e giroscópio 6 eixos com comunicação I²C, utilizado na implementação do protótipo inicial.

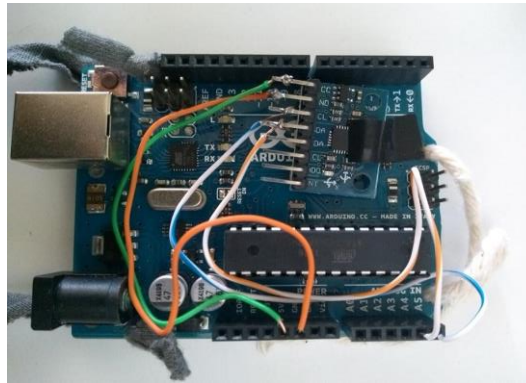
**(4-a)****(4-b)**

O módulo MPU-6050 além de possuir comunicação do tipo I²C, possui um conversor analógico/digital (AD) e também 6 eixos, 3 para o acelerômetro e 3 para o giroscópio. Seu preço médio no mercado varia entre aproximadamente 19 a 25 reais. O que torna uma ótima solução para a implementação de um protótipo simples. Os códigos para o funcionamento do módulo no Arduino resultam em uma sequência de passos, as quais: Inicializam as variáveis para o armazenamento dos dados que serão capturados pelo sensor; fazem o início da comunicação do Arduino com o módulo; realiza a captura dos dados pelo sensor e faz o armazenamento em suas respectivas variáveis.

5 APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO

Com o dispositivo do modulo MPU-6050 ligado corretamente a placa Arduino UNO e o código compilando corretamente, tem-se um primeiro protótipo conforme mostrado na Figura 5. Com o protótipo funcionando perfeitamente, tem-se início a coleta dos dados. Inicialmente para fins de testes, os dados foram coletados em pacientes hígidos, realizando a tarefa motora descrita anteriormente. O critério de inclusão para a primeira coleta foi a capacidade de realizar a tarefa descrita, não houve critério de exclusão nessa fase.

Figura 5: Protótipo montado utilizando o Arduino UNO e o Módulo MPU-6050 com acelerômetro e giroscópio.

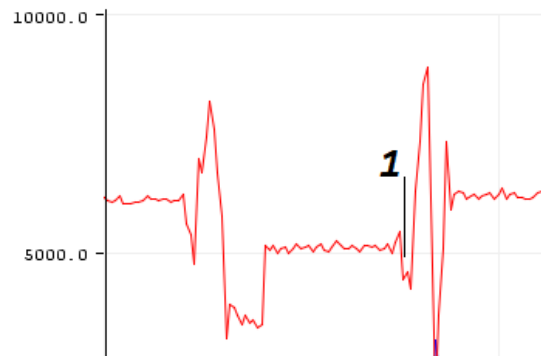


A bradicinesia é calculada pela diferença de tempo entre o tempo de início do movimento pelo início da autorização do aplicador. O início do movimento pode ser visivelmente notado pelo gráfico na marcação 1 da figura 6, onde antes da marcação tem-se a fase de repouso do início da tarefa motora descrita, já na marcação tem-se a alteração dos dados coletados pelo sensor, indicando assim, que algum movimento foi realizado. O tempo de bradicinesia do paciente ocorre cronometrando desde o início da autorização do avaliador (a qual ocorre na fase de repouso), até o início do movimento, onde ocorre uma grande variação dos dados resultantes dos sensores. Com esse teste, tem-se a comprovação de que os sensores inerciais podem servir como forma de um instrumento para a quantificação de dados ao realizar uma atividade motora, pois não faz o uso de fatores observacionais para a coleta dos dados, não geando os mesmos erros de atraso na captura do tempo.

Uma vez que, atualmente, a contagem do tempo feita pelo avaliador vem a ser de modo observacional, considerando o atraso no tempo de início do sinal para a realização da tarefa e o atraso no tempo de resposta para acionar e parar o cronômetro. Constatando assim que este modo de avaliação é subjetivo, resultando em uma confiabilidade moderada conforme citado por Bennett (1997).

Para o tempo inicial, a coleta pode ser realizada por meio do *software* do sistema embarcado final, uma vez que a mesma ocorre na fase de repouso. O cálculo da bradicinesia pode ser descrito como a diferença entre o valor do tempo de início do movimento pelo valor de tempo do comando dado para a realização da tarefa.

Figura 6: Resultado de um primeiro teste utilizando o módulo MPU-6050 no Arduino UNO. Em 1 temos o início do movimento sendo capturado pelo sensor.



6 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo verificar se os sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) podem ser usados, através de um sistema embarcado, para uma possível forma de caracterização da bradicinesia na DP durante a realização de uma atividade motora, a qual deixaria assim de ser observacional e passaria a ser quantitativa. Foram explicados os conceitos sobre a DP, a bradicinesia, bem como as vantagens na utilização dos sensores e dispositivos tecnológicos em prol da saúde.

Para fazer a verificação da efetividade, a criação de um simples protótipo foi explicada, mostrando assim a facilidade de utilização dos sensores bem como a efetividade dos dados gerados, o que resulta na quantificação dos mesmos, para assim poder aplicar em pacientes com a DP. Como o dispositivo faz a contagem através de um *software*, tem-se que o tempo de atraso entre o início da avaliação até o início do movimento vem a ser extremamente preciso, uma vez que não depende da percepção da contagem do tempo feita pelo avaliador. O teste pode ser realizado em grupos de controle e em grupos com a DP independentemente do avaliador, retornando assim em uma quantificação dos dados de forma constante.

Em um teste inicial com pacientes que obedeceram aos critérios de inclusão, o resultado mostrou ser eficiente ao objetivo do trabalho. Os sensores apresentaram ter uma forma simples de utilização bem como na verificação dos dados gerados, onde, a partir disso, pode ser aplicada em casos de doenças neurodegenerativas, contribuindo assim na avaliação clínica. Finalmente, este estudo pode ser usado de base para a criação de novas tecnologias as quais fazem da utilização de sensores inerciais para quantificar doenças neurodegenerativas que acarretam em deficiência motora e com isso, poder contribuir na avaliação da progressão da doença e efeitos de terapias ou de medicamentos.

REFERÊNCIAS

- [1] Rabelo, A. G., Neves, L. P., Paixão, A. P. S., Oliveira, F. H. M., de Souza, L. A. P. S., Vieira, M. F., ... Andrade, A. O. (2017). Objective Assessment of Bradykinesia Estimated from the Wrist Extension in Older Adults and Patients with Parkinson's Disease. *Annals of Biomedical Engineering*, 45(11), 2614–2625. <https://doi.org/10.1007/s10439-017-1908-3>
- [2] Mentzel, T. Q., Mentzel, C. L., Mentzel, S. V., Lieverse, R., Daanen, H. A. M., & Van Harten, P. N. (2016). Instrumental Assessment of Bradykinesia: A Comparison Between Motor Tasks. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20(2), 521–526. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2015.2412656>
- [3] Berardelli, A. (2001). Pathophysiology of bradykinesia in Parkinson's disease. *Brain*, 124(11), 2131–2146. <https://doi.org/10.1093/brain/124.11.2131>
- [4] Bennett, D. A., Shannon, K. M., Beckett, L. A., Goetz, G. G., & Wilson, R. S. (1997). Metric properties of nurses' ratings of parkinsonian signs with a modified Unified Parkinson's Disease Rating Scale. *Neurology*, 49(6), 1580–1587. <https://doi.org/10.1212/WNL.49.6.1580>
- [5] Goulart, F., & Pereira, L. X. (2005). Uso de escalas para avaliação da doença de Parkinson em fisioterapia. *Fisioterapia e Pesquisa*, 2, 49–56. <https://doi.org/10.1590/fpusp.v11i1.76385>
- [6] Goetz, C. G., Tilley, B. C., Shaftman, S. R., Stebbins, G. T., Fahn, S., Martinez-Martin, P., ... Zweig, R. M. (2008). Movement Disorder Society-Sponsored Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Scale presentation and clinimetric testing results. *Movement Disorders*, 23(15), 2129–2170. <https://doi.org/10.1002/mds.22340>
- [7] Moreira, C., Martins, K., Neri, V., & Araújo, P. (2007). Doença De Parkinson: Como Diagnosticar E Tratar. *Fmc.Br*, 2(022), 19–29. Retrieved from <http://www.fmc.br/revista/V2N2P19-29.pdf>
- [8] Damasceno, E. F., Cardoso, A., & Lamounier Junior, E. A. (2015). Recomendação de Exercícios Fisioterápicos por Sensores de Movimento TT - A Computational Recommendation for RehabExercises with Motion Capture Sensor. *J. Health Inform*, 7(2), 47–57. Retrieved from <http://www.jhi-sbis.saude.ws/ojs-jhi/index.php/jhi-sbis/article/view/335/232>

- [9] Caldas, R. R. (2014). Goniometry based on inertial sensors for movement analysis of the cervical spine. *XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica - CBEB 2014*, (March 2016).
- [10] Dudak, P., Sladek, I., Dudak, J., & Sedivy, S. (2016). Application of inertial sensors for detecting movements of the human body. *2016 17th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME)*, 1–5.
- [11] Shaeffer, D. K. (2013). MEMS inertial sensors: A tutorial overview. *IEEE Communications Magazine*, 51(4), 100–109. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6495768>